

【原著論文】走査型電子顕微鏡観察により明らかになった毛髪の 損傷形態と栄養状態との関連

若 林 萌

金城学院大学大学院人間生活学研究科後期課程

Morphological Study of Hair Damage Affected by Nutritional Conditions

Megumi Wakabayashi

Graduate School of Human Ecology, Kinjo Gakuin University

The relationship between food intake and the structure of hair cuticle were studied in healthy men and women of various ages. The food frequency questionnaire (FFQ) for weekdays was performed, and the ultrastructure of hair cuticle was also examined. With a scanning electron microscopy, various damages were revealed on the hair cuticle of healthy men and women. The abnormal structures of cuticle damage were classified into 7 categories; 1) peeling, 2) abrasion, 3) cracking, 4) hole formation, 5) dot staining, 6) destruction, and 7) cortex exposure. The abnormal structure of hair cuticle was observed mainly in obese people but not in lean people. Especially, the intake of more lipid, animal proteins, salt and less fiber, less mineral induced damage of cuticle structures. Among 7 categories abrasion and cracking were shown to be prominent hair damage induced by nutritional conditions.

Keywords: scalp hair (毛髪), cuticle (毛小皮), scanning electron microscope (走査型電子顕微鏡)

1. はじめに

人体において、毛髪及び爪は皮膚のうち表皮の角質層が変化したもので、体の表面を保護する役目を持ち、主成分は硬ケラチンタンパク質である^{1, 2)}。毛髪はキューティクル、コルテックス、メデュラから構成されている。キューティクルは、厚さ0.5~1.0 μm 、長さ約45 μm のうろこのような形状をした細胞であり、一般に、人毛のキューティクルは5~10層であり、コルテックスを覆っている³⁾。毛髪の状態は、身体徴候から栄養状態や健康状態を推定する上で貴重な情報を与える。さらに、毛髪及び爪は、非侵襲的に採取することができるという利点を持つ。毛髪分析は、過去のミネラルの栄養状態を反映する健康予測法であり、医学的、栄養学的観点から健康を維持する指標として有効であると言われて⁴⁻⁶⁾。

また、個人の栄養状態を正しく理解し、欠乏や過剰となる栄養素について対処するために生体内の必須微量元素の動態を把握することは重要である。その手段として主に毛髪の実験が利用されてきている⁷⁾。

毛髪の構成成分であるシスチンはメチオニンから作られるが、メチオニンは必須アミノ酸として食事から摂らなければならないため、毛髪は食事の影響を受けやすいと言われている⁸⁾。さらに毛髪は、採取時に代謝活性が停止するため、毛髪に取り込まれた元素はその中に固定され、生体の恒常性の調節を受けないという特徴があり、酵素作用が潜在的に進行している血液などの試料よりも成分が安定していることから、食事調査の有効性を確かめる一方法として有用であり、腐ることなく保存できる有効な検体であるとも言われている^{9, 10)}。しかし、栄養調査の一環として毛髪の実験を利用することは少ない。

栄養状態に関連した毛髪の変化を調べることは、長期間の平均的な生体情報の把握を可能にし、場合によっては過去に遡っての情報も併せて得ることが可能であるという利点を有する¹¹⁻¹³⁾。本研究では毛髪の損傷と摂取栄養量との関連性を明らかにすることとした。

2. 実験方法

1) 毛髪の採取

10代から80代までの各年代の健康な男性(45人)及び女性(73人)、計118人を対象にそれぞれの毛髪を毛根部から採取し、室温で保存した。採取場所は、後頭部の頭頂より約4cm下がったところの中央の根元である。

2) 走査型電子顕微鏡観察

表面構造の観察には、採取した毛髪の根元から1~2cmの部分を取り取り、試料台に張り付け、試料にあらかじめ微粒子の金を蒸着し(エイコー:イオンコーター)、日立S-800走査型電子顕微鏡で観察した。

3) 食事調査

毛髪を採取した対象者118名に、食物摂取頻度調査(FFQ)(建帛社Ver. 3.5)を2012年9月に実施した。90名から回答があり回収率は76.3%であった。

4) アンケート調査

毛髪を採取した対象者118名に、「日常的な毛髪の手入れ及び、毛髪と爪の状態に関するアンケート」を2012年9月に実施した。86名から回答があり回収率は72.9%であった。

5) 統計処理

今回の実験で得られた値は全て平均値 \pm 標準偏差で示した。調査方法の妥当性の検討では、食物摂取頻度調査法で得られた一部のデータに正規性が認められたため、対応のないt検定による平均値の差の確認を行った。正規性が認められなかったものに関してはMann-WhitneyのU-検定を用いた。有意水準は5%とした。

食物摂取頻度調査法で有意差が認められた栄養素において、毛髪の損傷分類ごとにさらなる統計的分析を行い、正規性が認められたものには対応のないt検定による平均値の差の確認を行い、正規性が認められなかったものに関してはMann-WhitneyのU-検定を用いた。

本実験は、金城学院大学ヒトを対象とする研究計画等審査の承認を受け行ったものである(承認番号H11019, H12003号)。

3. 結果

1) キューティクルの異常の微細構造—走査型電子顕微鏡による観察

各年代の男女の毛髪観察において認められたキューティクルの損傷の状態を、その形状別に7種類（剥離、磨耗、割線、穿孔、黒点、破壊、脱落）に分類し、正常像と共に図1に示した。図1Aは、正常なキューティクルであり、キューティクルが毛髪の内部を保護しているのが確認できる。また、角化した薄いうろこ状の細胞が根元から毛先に向かって屋根瓦のように部分的に重なっている（30代男性）。

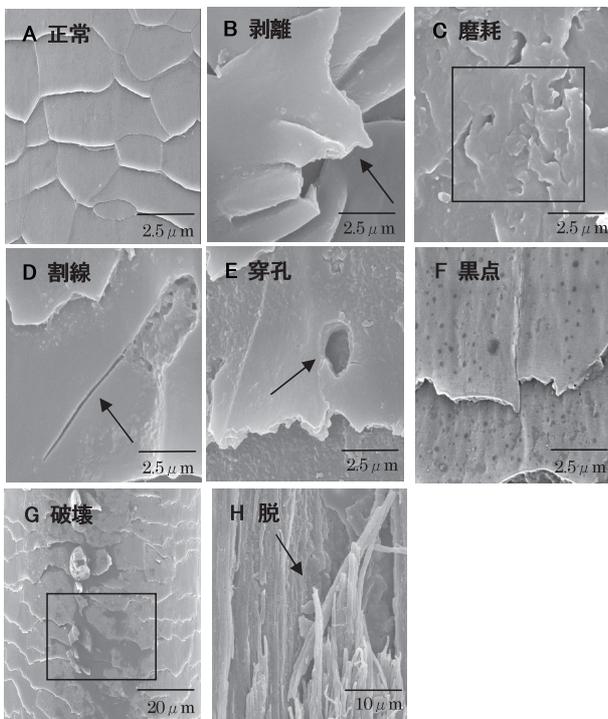


図1 キューティクルの異常7型の分類（各図の下方が毛先）

図1Bはキューティクルが剥離しているものである（矢印）。キューティクルの接着構造が弱くなり、キューティクルが剥がれて先端が浮いてしまっている（30代女性）。

図1Cは、キューティクルが磨耗しているものである（スクエア部分）。キューティクルの表面は通常平滑であるが、鱗片縁が溶け、1枚1枚のキューティクルの境目が分からなくなっている

（10代男性）。

図1Dは、キューティクルに割線が入っているものである（矢印）。キューティクルの一部分にナイフで切られた様な跡がある（30代女性）。

図1Eは、キューティクルに穿孔が見られるものである（矢印）。キューティクルの各層に完全に穴が開き、下のキューティクルの層が確認できる（60代女性）。

図1Fは、キューティクルの一部に、黒点（点状に電子密度の高い部分）が確認されたものである。低倍率では正常なキューティクルのように見えたが、高倍率にしたところ、1層のキューティクルに黒点（電子密度の高い部分）が多数見られる（20代女性）。

図1Gは、キューティクルの破壊が確認されたものである（スクエア部分）。キューティクルが破壊され、変性している（20代女性）。

図1Hは、キューティクルが脱落し、内部のコルテックスが露出したものである（矢印）。通常コルテックスは何枚ものキューティクルで覆われ、保護されているが、完全にキューティクルが剥がれ落ちて内部が露出している（60代女性）。

2) キューティクルの異常7型の出現頻度

表1に示すように、観察した118例においてキューティクルの剥離は全体の半数以上で見られた。また、キューティクルに2種類以上の異常所見を持つ対象者が全体の半数以上で確認された。穿孔、黒点、破壊、脱落、はそれぞれ全体の10%以下と少ない傾向にあった。さらに、20代の対象者だけにキューティクルの破壊が確認され、60代女性は、他の年代では見られなかった脱落（コルテックスの露出）が確認された。70代女性が全ての損傷において出現頻度が30%以下と最も少ない傾向にあり、しかも個人差が大きかった。

日常的毛髪の手入れについてアンケートをとったところ、アンケートで「毛染め、パーマを施している」と回答した者は、顕微鏡観察によりキューティクルの損傷が確認された。ヘアアイロンを使用していると回答した者には正常なキューティクル保持者は見られなかった。また、化学処理を施している対象者においても、キューティクルに損傷が確認され

表1. キューティクルの異常7型の出現頻度

年代	性別 (人数)	剥離 (%)	磨耗 (%)	割線 (%)	穿孔 (%)	黒点 (%)	破壊 (%)	脱落 (%)
10	男性 (5)	40	100	40	20			
	女性 (6)	33.3	33.3	50		16.7		
20	男性 (8)	75	87.5	25	12.5	12.5	12.5	
	女性 (12)	58.3	33.3	41.7		16.7	8.3	
30	男性 (7)	71.4	28.6	42.9				
	女性 (9)	88.9	44.4	22.2	11.1			
40	男性 (5)	80	60	20				
	女性 (10)	60	90	10	10			
50	男性 (5)	60	80	40				
	女性 (9)	55.6	66.7	22.2	11.1	22.2		
60	男性 (5)	60	50					
	女性 (15)	53.3	40	6.7	13.3	13.3		6.7
70	男性 (5)	20	60	20	40			
	女性 (7)	28.6	28.6	14.3	28.6			
80	男性 (5)	60	60					
	女性 (5)	60	20					
平均	男性 (45)	60	55.6	24.4	8.9	2.2	2.2	
	女性 (73)	56.2	46.6	20.5	9.6	9.6	1.4	1.4
全体の平均		57.6	50	22	9.3	6.8	1.7	0.8

なかった者や、損傷が1種類であった者、複数の損傷が見られた者など、毛髪の損傷程度には差が見られた。

3) 栄養状態と毛髪の異常像出現の関連性

食物摂取頻度調査の回答のあった90名につき、走査型電子顕微鏡観察の結果キューティクルに損傷等の異常所見が見られた群 (n=77) と、走査型電

子顕微鏡観察の結果キューティクルに損傷等の異常所見が見られなかったキューティクル正常群 (n=13) の2つに分け、栄養状態と毛髪の異常出現の結果を比較検討した。

キューティクルに損傷等の異常所見が見られた群の栄養素等摂取量は、ほとんどの栄養素においてキューティクル正常群より高い値を示した (表2)。

表2. 対象者の栄養素等摂取量と毛髪の損傷との関連性 (食物摂取頻度調査)

項目	キューティクル正常群 (n=13)	キューティクルに損傷等の異常所見が見られた群 (n=77)	p値
体重 (kg)	52.18±9.5	58.2±11.0	0.14
BMI (kg/m ²)	19.9±3.2	22.3±3.0	0.21
エネルギー (kcal) [†]	1428±327	1895±488	0.04*
タンパク質 (g) [†]	50.8±13.3	62.7±16.3	0.12
脂質 (g) [†]	39.5±15.1	61.8±20.9	0.02*
炭水化物 (g)	218.1±36.5	255.3±71.3	0.14
カルシウム (mg) [†]	567.8±295.8	506.8±197.1	0.53
マグネシウム (mg) [†]	235.6±111.5	226.4±63.0	0.86
鉄 (mg) [†]	6.9±3.3	6.7±2.0	0.84
亜鉛 (mg)	5.7±1.4	7.7±2.2	0.03*
ビタミンK (μg) [†]	223.0±179.3	194.7±87.8	0.87
ビタミンB ₁ (mg)	0.6±0.2	0.9±0.2	0.01*
ナイアシン (mg)	7.9±1.8	14.4±4.1	0.00**
ビタミンB ₆ (mg)	0.7±0.2	1.0±0.3	0.01*
パントテン酸 (mg)	3.6±0.9	5.2±1.5	0.03*
飽和脂肪酸 (g)	12.4±3.5	19.7±7.9	0.05*
一価不飽和脂肪酸 (g)	12.1±4.9	22.0±7.8	0.01*
コレステロール (mg) [†]	189.5±91.7	304.9±111.9	0.03*
食物繊維総量 (g) [†]	12.5±5.5	11.9±3.9	0.77
脂肪酸総量 (g)	33.9±13.7	54.2±18.6	0.02*
タンパク質エネルギー比 (%) [†]	14.3±3.0	13.4±1.9	0.33
脂質エネルギー比 (%) [†]	24.3±3.9	29.0±4.8	0.04*
炭水化物エネルギー比 (%) [†]	61.4±5.5	57.6±5.7	0.16
動物タンパク比 (%) [†]	35.4±12.0	52.8±8.2	0.00**

データは平均値±標準偏差 †: 2群間の差のt検定 (対応なし)
無印: Mann-WhitneyのU-検定 * : p<0.05 ** : p<0.01

表3. 食事バランスガイドに基づいた摂取量の比較

項目	キューティクル正常群 (n=13)	キューティクルに損傷等の異常所見が見られた群 (n=77)	p値
主食 (sv)	2.9 ± 1.3	3.7 ± 1.4	0.34
副菜 (sv)	1.8 ± 1.1	3.5 ± 1.9	0.04*
主菜 (sv)†	3.1 ± 1.9	5.5 ± 1.9	0.01**
牛乳・乳製品 (sv)	1.6 ± 0.8	1.3 ± 1.2	0.39
果物 (sv)	0.6 ± 0.5	0.6 ± 0.6	0.81
菓子・嗜好飲料 (sv)	3.1 ± 2.3	5.4 ± 3.0	0.10

データは平均値±標準偏差 †: 2群間の差のt検定 (対応なし)
無印: Mann-WhitneyのU-検定 * : p<0.05 ** : p<0.01

表4. 食品群摂取量の比較

項目	キューティクル正常群 (n=13)	キューティクルに損傷等の異常所見が見られた群 (n=77)	p値
乳・乳製品・卵 (g)	174.4 ± 84.9	163.1 ± 112.9	0.73
魚介・肉類・豆・豆製品 (g)†	119.7 ± 87.9	181.7 ± 67.5	0.06
野菜・芋類・果物 (g)†	233.3 ± 90.1	307.4 ± 163.7	0.32
穀類・砂糖・油脂・その他嗜好品 (g)	391.1 ± 98.1	661.7 ± 228.7	0.67

データは平均値±標準偏差 †: 2群間の差のt検定 (対応なし)
無印: Mann-WhitneyのU-検定 * : p<0.05 ** : p<0.01

その中でも、エネルギー、脂質、一価不飽和脂肪酸、コレステロール、脂肪酸総量、動物タンパク比、菓子/嗜好飲料、魚・肉・卵・豆・豆製品（小魚除く）、油脂類/脂肪の多い食品など、脂質系統の項目の摂取がキューティクルに損傷等の異常所見が見られた群で特に高かった（表2, 表3, 表4）。

また、亜鉛、ビタミンB₁、ナイアシン、ビタミンB₆、パントテン酸、主菜においてもキューティクルに損傷等の異常所見が見られた群の摂取量が有意に高かった（表2, 表3）。カルシウム、鉄、マグネシウム、ビタミンKの摂取量は、有意差はないもののキューティクル正常群の方が高い傾向にあった（表2）。さらに有意差はなかったものの、キューティクル正常群に乳・乳製品・卵の摂取量が多い傾向にあった（表4）。

4) 栄養状態と毛髪の損傷との関連性

キューティクルに損傷等の異常所見が見られた群とキューティクル正常群を比較して有意差が認められた栄養素について、どのような損傷が特徴的に見られるのか、さらなる分析を行った（表2）。

磨耗、割線の損傷において摂取量について有意差を示す栄養素が多く見られた（表2）。特にエネルギー摂取量が高く、一価不飽和脂肪酸の摂取量が多い者には磨耗、割線の2種類の損傷が多く見られた

（表2）。また脂質、亜鉛、ビタミンB₁、ナイアシン、ビタミンB₆、パントテン酸、脂肪酸総量においては磨耗の見られた対象者においてこれらの摂取量が多い結果となった（表2）。

4. 考察

走査型電子顕微鏡観察によりキューティクルが正常であった者は、118人中15人（12.7%）と、対象者の約1割にとどまり、大多数の対象者がキューティクルに何らかの損傷があることが確認された。毛髪は自然環境（紫外線、太陽光等）や物理的あるいは化学的作用によってたえず損傷の脅威にさらされている¹⁴⁻¹⁸⁾ ため、キューティクルは損傷しやすいものであると言われている。これは9割の対象者のキューティクルに損傷が見られたことから明らかである。

毛髪の内部構造の損傷に先行するキューティクルの損傷は、多様な形態を持つことが明らかとなった。その中でも最も出現率の高い損傷は、全年代で観察されたキューティクルの剥離であったことから、剥離は毛髪損傷の初期に生じる異常であることが示唆された。

キューティクルが正常な毛髪を維持するためにはバランスの摂れた食事が必要と言われている⁹⁾ ことから、摂取する栄養素の量は、毛髪の状態を左右することがうかがえる。毛髪はタンパク質でできているため、種々のアミノ酸を含んだタンパク質（大豆、小魚、牛乳、肉、卵など）をバランスよく摂取することが必要となる。本調査の結果で有意差はなかったものの、キューティクル正常者において、乳・乳製品・卵の摂取量が多いことから、特に牛乳や卵がキューティクルの構造維持に関連していると考えられる。

キューティクルに損傷が確認された対象者は正常群に比べ脂質の摂取量やコレステロールの摂取量が高く、食物繊維の摂取量は少なかった。動物性脂肪は飽和脂肪酸が含まれ、過剰摂取による血中コレステロール値の上昇や動脈硬化、心筋梗塞などが問題となっている¹⁹⁾。血中脂質レベルは、食事内容によって大きく変動することが知られており、中で

も、水溶性食物繊維は血清総コレステロール、特にLDL-コレステロールを低下させると言われている²⁰⁻²²⁾。毛髪は毛根をとり囲む毛細血管が毛母細胞に血液を供給して栄養分を摂取している。十分な供給があれば毛髪は正常に伸長するが²³⁾、脂肪の摂取が多いと、身体の血行が悪くなり、頭皮の血行も悪化するため、毛髪にも悪影響を及ぼしキューティクルの損傷に影響を与えたと考えられる。

毛髪は硬タンパク質であるケラチンタンパク質でできており²⁴⁾、低タンパク血症などでタンパク質が不足すると、毛髪の性状に変化が現れると言われている²⁵⁾。今回タンパク質の1日あたりの平均摂取量は男性 $58.7 \pm 3.7\text{g}$ で、食事摂取基準の50gを超えており、女性も $51.2 \pm 17.4\text{g}$ と、食事摂取基準の40gを超えており、どちらもタンパク質の不足はなかった。むしろ今回はキューティクルが正常な対象者の方がタンパク質の摂取量は低かった。また、異常所見が見られた対象者では、動物性タンパク比が高かった。今回対象者が健常者であり、タンパク質の不足がないこと、脂質で有意差が見られたことから、動物性タンパク質の適正な摂取は毛髪を正常に保つが、多量に摂取すると結果的に脂肪摂取量も高くなり²⁶⁾、キューティクルの損傷につながる可能性が示された。

シスチン含量が低下し、システインが増加すると、キューティクルの損傷につながるとされている²⁷⁾が、本研究では毛髪のシスチン量を測定していないため、シスチン含量の低下とキューティクルの状態の関係性をはっきり述べることはできない。今後毛髪におけるシスチン含量を測定し、どのようにキューティクルの損傷に関与しているかを検討していく必要がある。

毛髪中の元素濃度はカルシウム、鉄、亜鉛などにおいて摂取量を反映するとされており²⁸⁾、今回の結果において、キューティクルが正常な対象者ではカルシウムと鉄の摂取量が有意差はないものの多い傾向にあり、正常群の毛髪にはカルシウムと鉄が多く含まれていると考えられる。カルシウムと鉄は健康に必須な元素であるだけでなく²⁹⁾、毛髪の成長にも関与している。カルシウムは血中から毛髪に供給され、毛髪の成長を促進し、鉄は皮膚や毛髪の細胞に

酸素を運ぶ働きを助けている。これらの元素を摂取し、毛髪の成長が促進されることがキューティクルの構造を正常に保つことにも関係していることが示唆された。

毛髪を含む皮膚関連組織とビタミンとの関係は密接であると言われており³⁰⁾、今回の調査において、ビタミンKのみ異常群の摂取量が低い結果となったことから、ビタミンKもキューティクル形成に関与していると考えられる。ビタミンKは空気や熱には安定であるが、アルカリ性と紫外線には弱いこと³¹⁾や、他のビタミンの吸収に関与しており、ビタミンKの摂取量が低いと他のビタミン吸収量が落ちることもキューティクルの損傷と関係しているのではないかと考えられる。ビタミンAやビタミンCなど多くのビタミンは欠乏により皮膚症状を呈するが³²⁾、今回の調査では、ビタミンK以外のビタミンにおいては、キューティクルに損傷がある対象者の方が摂取量は多かった。今回の調査対象が健常者であり、不足しているとは言えないこと、キューティクルを正常に保つためにはビタミン以外の栄養素がより必要だということも考えられる。

今回の調査では、卵の摂取量が正常群で多い傾向にあった。卵の中にはキューティクルの構造維持に関与するジスルフィド結合に必要なイオウが多く含まれている³³⁾ためと考えられる。

各栄養素と損傷の種類を調べたところ、磨耗、割線の見られた対象者においてエネルギー、一価不飽和脂肪酸の摂取量が多かった。また磨耗の見られた対象者では脂質、亜鉛、ビタミンB₁等の摂取量が有意に多かったことと併せて考えると、磨耗、割線というキューティクルの損傷が個人の栄養状態に関係する損傷であると考えられる。

5. まとめ

本研究において、走査型電子顕微鏡で観察した結果キューティクルが正常であった対象者は、118人中15人(12.7%)と、対象者の約1割にとどまり、大多数の対象者がキューティクルに何らかの損傷があることが確認された。このことから、キューティクルは損傷しやすいものであるということが明らか

となった。そしてキューティクルの損傷を7項目に分類した。

食事調査によりキューティクルが正常な対象者と損傷が見られた対象者の栄養素摂取に差があったことから、キューティクルの損傷には栄養状態も関わっていることが明らかとなった。特に脂質の過剰摂取が関係していることが示唆された。

本研究では、さまざまな年齢、性、栄養状態により、毛髪の組織構造がどのように変化するのかわかるようにするために顕微鏡観察を行った。この結果をより正確なものにするためには摂取栄養素がどのくらい毛髪や爪の構築に反映するのかわかる、アミノ酸分析や血液検査などで分析する必要があり、今後の課題と言える。

6. 謝辞

本論文をまとめるにあたり、終始ご指導をいただいた金城学院大学大学院人間生活学研究科人間生活学専攻小林身哉教授、日野知証教授、金城学院大学研究員野口知里さんに心より感謝申し上げます。

本研究の電子顕微鏡観察において、機器の使用に関してご助言をいただいた名古屋大学大学院医学系研究科附属医学教育研究支援センター分析機器部門藤田芳和先生に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) J. A. Swift (1981) The hair surface. pp. 65-72. *Springer-Verlag, New York.*
- 2) J. A. Serra (1946) Constitution of hair melanins. *Nature* 157: 771-779.
- 3) V. A. Randall, M. J. Thornton, K. Hamada, C. P. Redfern, M. Nutbrown, F. J. E. Bling, A. G. Messenger (1991) Androgens and the hair follicle. Cultured human dermal papilla cells as a model system. *Annals of the New York Academy of Sciences* 642: 355-375.
- 4) 塚田信, 菅原明子 (1996) 児童福祉施設入所児童の入所直後と7か月後との毛髪中ミネラル含量の変動について. *栄養学雑誌* 54 (1) : 33-40.
- 5) 今井良次 (1982) 「毛髪分析」でズバリ健康度がわかる本. pp. 43-45. 中経出版, 東京.
- 6) 近藤賢 (1981) 毛髪分析〈基礎編〉. p. 52. サンロード出版, 東京.
- 7) 明石潤子, 今堀彰, 福島一郎 (1981) 毛髪の中性子放射化学分析—元素濃度間の相関についての検討—. *Radioisotopes* 30 : 7-12.
- 8) 林正利 (1989) ヒト指爪中元素濃度の月間変動. *日本農村医学雑誌* 38 (1) : 13-18.
- 9) 伊能正浩 (2002) シリーズ “アミノ酸” No. 13 毛髪とアミノ酸, *Ajico News* 204 : 23-28.
- 10) W. Willett 著, 田中平三訳 (1996) 食事調査のすべて—栄養疫学—. pp. 45-49. 第一出版, 東京.
- 11) K. M. Hambidge (1982) Hair analyses worthless for vitamins, limited for minerals. *Am J Clin Nutr* 36(5): 943-949.
- 12) 津金昌一郎 (1985) 小児発育期における毛髪内微量元素プロフィールについて. *日本衛生学雑誌*, 40 (2) : 619-626.
- 13) チャールズ・R・パケット著, 久郷晴彦訳 (1998) 毛髪分析のすすめ. pp. 30-32. 木世出版社, 東京.
- 14) M-O. Han, J-A. Chun, J-W. Lee, C-H. Chung (2008) Effects of permanent waving on changes of protein and physicomorphological properties in human head hair. *J Soc Cosmet Chem* 59(3): 203-215.
- 15) R. Beyak, G. S. Kass, C. F. Mayer (1971) Elasticity and tensile properties of human hair. *J Soc Cosmet Chem* 22: 667-678.
- 16) 龍田貞信, 鳥居健二他 (1987) 損傷毛の性質. *日本化粧品技術者会誌* 21 (1) : 15-28.
- 17) C. R. Robbins, M. K. Bahl (1984) Analysis of hair by electron spectroscopy for chemical analysis. *J Soc Cosmet Chem* 35: 379-390.
- 18) F. Osório, A. Tosti (2011) Hair heathering, part I, Hair structure and pathogenesis. *Cosmet Dermatol* 24: 533-538.
- 19) 長尾智紀 (2000) 脂質栄養と成人病. *日本食生活学会誌* 10 (2) : 19-26.
- 20) 池本真二 (2000) 食物繊維と脂質代謝. *日本食物繊維研究会誌* 4 (1) : 1-8.

- 21) M. A. Denke, C. T. Sempos, S. M. Grund (1993) National cholesterol education program. Second report of the expert panel on detections, evaluation, and treatment of high blood cholesterol in adult. *NIH Publication* 93: 172-180.
- 22) D. D. Gallaher, B. O. Schneeman (1996) Dietary fiber. Present knowledge in nutritions. *International Life Sciences Institute Press, Washington D. C.* 7: 87-97.
- 23) 内藤幸雄, 本間意富 (1985) 毛髪科学. 繊維学会誌41 : 122-126.
- 24) J. A. Swift, B. Bews (1974) The chemistry of human hair cuticle II . *J Soc Cosmet Chem* 25: 355-366.
- 25) 谷守 (2007) 爪甲, 毛髪. 臨床栄養111 (5) : 588-592.
- 26) 小川正 (2004) 食物アレルギー—その実態と対策—. 日本調理科学会誌37 (4) : 67-75.
- 27) 奥村丈夫, 安藤洋司 (1983) 頭髪化粧品. 色材協会誌62 (10) : 615-623.
- 28) 本郷哲郎 (1995) 微量元素, とくに亜鉛等を中心としての栄養生態的研究. 日本栄養・食糧学会誌46 (1) : 9-19.
- 29) 千川純一 (2005) 毛髪に現れるミネラル代謝とガンの兆候—放射光蛍光X線分析による観察—. *Biomed Res Trace Elements* 16(4) : 265-275.
- 30) 山根賢次 (1988) 含流アミノ酸とくにシステインの代謝と栄養. 日本栄養・食糧学会誌42 (3) : 207-215.
- 31) 奥恒行 (2000) 多機能性脂溶性ビタミンKの栄養学. 臨床栄養96 (2) : 155-162.
- 32) L. J. Goldberg, Y. Lenzy (2010) Nutrition and hair. *Clinics in Dermatology* 28: 412-419.
- 33) 江口昭彦, 齋藤寛, 田中静恵, 田中恵子, 中野篤浩, 有澤孝吉, 小林誠 (1999) 食品中の硫黄含量について (第1報). 栄養学雑誌57 (3) : 177-182.